



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0105595
(43) 공개일자 2021년08월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 31/10 (2006.01) H01L 31/0216 (2014.01)
H01L 31/0256 (2006.01) H01L 31/032 (2006.01)
H01L 31/18 (2006.01)

(52) CPC특허분류

H01L 31/10 (2013.01)
H01L 31/02167 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0020245

(22) 출원일자 2020년02월19일

심사청구일자 2020년02월19일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김현재

서울특별시 마포구 마포대로 195, 402동 1101호(아현동, 마포 래미안 푸르지오)

강병하

서울특별시 동작구 장승배기로16길 134, 101동 601호(노량진동, 쌍용예가아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인우인

전체 청구항 수 : 총 14 항

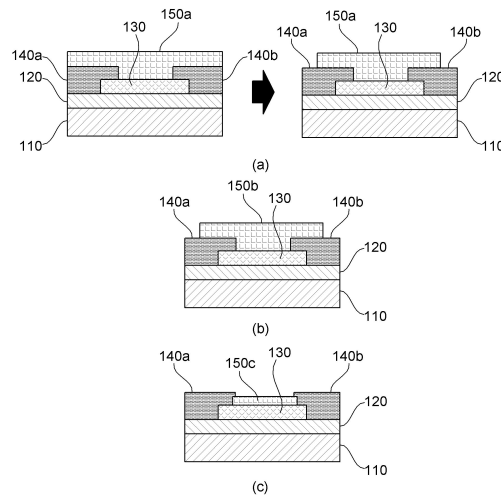
(54) 발명의 명칭 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 방법

(57) 요약

셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 방법을 개시한다.

본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법은, 복수의 전극, 게이트 절연층 및 채널 영역을 포함하는 트랜지스터를 형성하는 제작 단계; 및 상기 채널 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 패시베이션층을 형성하는 도핑 단계를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1b



(52) CPC특허분류

H01L 31/0324 (2013.01)

H01L 31/1868 (2013.01)

H01L 2031/0344 (2013.01)

(72) 발명자

홍성환

인천광역시 남동구 논고개로68번길 49, 101동
3102(논현동, 힐스테이트아파트)

이이삭

경기도 수원시 팔달구 중부대로223번길 102, 108동
109호(우만동, 주공1단지아파트)

정수진

서울특별시 마포구 월드컵북로 235, 13동 803호(성
산동, 성산시영아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 K_G011006303804

부처명 산업통상자원부

과제관리(전문)기관명 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업기술혁신사업-제조기반산업핵심기술개발사업

연구과제명 유연기관 손상 최소화를 위한 in-situ 광소결 서브마이크로급 패터닝 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2019.01.01 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

포토티랜지스터의 제조 방법에 있어서,
복수의 전극, 게이트 절연층 및 채널 영역을 포함하는 트랜지스터를 형성하는 제작 단계; 및
상기 채널 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 패시베이션층을 형성하는 도핑 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 채널 영역은,
전이금속 칼코겐 화합물(Transition Metal Dichalcogenides)로 형성되는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 전이금속 칼코겐 화합물은,
이황화몰리브덴(Molybdenum Disulfide, MoS₂), 이셀레니드 몰리브덴(Molybdenum Diselenide, MoSe₂), 이셀레니드 텅스텐(Tungsten Diselenide, WSe₂), 이텔루리드 몰리브덴(Molybdenum Ditelluride, MoTe₂), 및 이셀레니드 주석(Tin Diselenide, SnSe₂) 중 적어도 어느 하나의 화합물인 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,
상기 도핑 단계는,
니트로셀룰로오스(Nitrocellulose) 용액을 도핑하여 상기 패시베이션층을 형성하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,
상기 니트로셀룰로오스 용액은,
점성 콜로디온(Collodion)과 에탄올(ethanol)을 혼합하여 형성되며,
상기 콜로디온(Collodion) 및 에탄올(ethanol)의 용적비(부피비)는 1 : 5 비율인 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 6

제4항에 있어서,
상기 도핑 단계는,
니트로셀룰로오스 용액을 스핀 코팅하여 상기 채널 영역 상에 증착하여 상기 패시베이션층을 형성하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토티랜지스터의 제조 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 도핑 단계는,

니트로셀룰로오스 분말과 에탄올 및 디에틸 에터(Diethyl ether)의 두 용매로 구성된 점성 콜로이드 용액에 에탄올 용매를 추가로 첨가하여 희석시켜 니트로셀룰로오스 용액을 제작하는 단계;

상기 니트로셀룰로오스 용액을 30 초 동안 3,000 rpm/분의 스핀 코팅하여 전이금속 칼코겐 화합물로 형성된 상기 채널 영역 상에 상기 패시베이션층을 증착하는 단계; 및

상기 패시베이션 층을 120 °C에서 5 분 동안 공기 중에서 어닐링 처리를 수행하여 상기 패시베이션 층을 균일화하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 8

제4항에 있어서,

상기 도핑 단계는,

EHD(Electrohydrodynamic) 제트 프린팅 방식을 기반으로 니트로셀룰로오스 용액을 상기 채널 영역 상에 증착하여 상기 패시베이션층을 형성하되,

상기 도핑 단계는,

카메라로 스캔하는 단계;

전기적 성능 측정장비를 통해 성능이 부족한 소자 영역을 측정하는 단계; 및

측정 결과에 문제가 존재하는 경우, EHD 제트 프린터 노즐을 통해 상기 채널 영역 상에 니트로셀룰로오스 용액을 증착하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제작 단계는,

실리콘을 기반으로 상기 게이트 전극을 형성하는 단계;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연 물질을 기반으로 게이트 절연층을 형성하는 단계;

상기 게이트 절연층 상에 전이금속 칼코겐 화합물을 기반으로 다층 구조의 채널 영역을 형성하는 단계;

상기 채널 영역 상에 전기 전도성 물질을 도포하고, 식각 공정을 통해 상기 채널 영역에 비오버랩 영역이 형성되도록 소스 전극 및 드레인 전극을 형성하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 채널 영역을 형성하는 단계는,

이황화몰리브덴(MoS₂) 결정을 초음파 처리하는 단계;

상기 이황화몰리브덴 결정에 접착 테이프(scotch tape)를 붙이고 압착한 후 다시 떼어내어 이황화몰리브덴 조각(MoS₂ flake)을 분리하는 단계;

상기 이황화물리브덴 조각을 상기 게이트 절연층 상에서 UV(ultraviolet) 친수 처리하는 단계;

상기 게이트 절연층에 붙어있는 상기 접착 테이프를 압착한 후 다시 떼어내어 상기 접착 테이프에서 이황화물리브덴 조각을 분리하여 이황화물리브덴 박막을 증착하는 단계를 포함하되,

상기 채널 영역을 형성하는 단계는, 상기 복수의 단계들을 반복적으로 수행하여 상기 다층 구조의 채널 영역을 형성하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법.

청구항 11

실리콘을 기반으로 형성된 상기 게이트 전극;

상기 게이트 전극 상에 게이트 절연 물질로 형성된 게이트 절연층;

상기 게이트 절연층 상에 전이금속 칼코겐 화합물로 형성된 다층 구조의 채널 영역;

상기 채널 영역에 비오버랩 영역이 형성되도록 전기 전도성 물질로 형성된 소스 전극 및 드레인 전극; 및

상기 채널 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 형성된 패시베이션층

을 포함하는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 패시베이션층은,

니트로셀룰로오스(Nitrocellulose) 용액으로 형성되며,

상기 니트로셀룰로오스 용액은 1 : 5 비율로 콜로디온(Collodion) 및 에탄올(ethanol)이 혼합되어 형성되는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 패시베이션층은,

상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극 사이의 상기 채널 영역의 비오버랩 영역 상에만 상기 니트로셀룰로오스 용액이 도핑되어 형성되는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 패시베이션층은,

상기 채널 영역의 비오버랩 영역과 상기 소스 전극 및 상기 드레인 전극의 일부 영역 상에 상기 니트로셀룰로오스 용액이 도핑되어 형성되는 것을 특징으로 하는 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 광전기적 성능 향상을 위하여 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 이 부분에 기술된 내용은 단순히 본 발명의 실시예에 대한 배경 정보를 제공할 뿐 종래기술을 구성하는 것은 아니다.

- [0003] 전이금속 칼코겐 화합물(TMD: Transition Metal Dichalcogenides)는 차세대 나노 일렉트로닉스의 기본 구동 또는 감지 유닛 장치를 위한 유망한 반도체 재료 중 하나로 주목을 받고 있다.
- [0004] 다양한 전이금속 칼코겐화합물 중에서, 이황화몰리브덴(MoS_2)이 적용된 포토트랜지스터는 가시광선 감지에 적합한 밴드 갭(1.2~1.9 eV), 높은 전기적 성능(이동도, 점멸비 등), Ultra-thin, 넓은 표면적, flexible 등의 잠재성 및 우수성을 가진다. 이에, 이황화몰리브덴(MoS_2)은 능동 매트릭스 디스플레이의 백플레인, 집적 회로, 태양 전지, 광 센서 및 광전자 장치와 같은 다양한 응용 분야에 적용될 수 있는 재료로 평가되고 있다.
- [0005] 그러나, 이황화몰리브덴(MoS_2) 및 다른 전이금속 칼코겐화합물(예: 이셀레늄화몰리브덴(MoSe_2), 몰리브덴 텔루르화물(MoTe_2), 이황화텅스텐(WS_2) 및 이셀레늄화텅스텐(WSe_2) 등)는 다양한 전자 장치에 적용하기에 제한사항(한계점)이 있다. 단일층, 이중층 및 삼중층 등 이황화몰리브덴(MoS_2)의 제조 공정은 복잡한 기술, 결합 및 결정의 정교한 제어 및 넓은 면적에 걸친 균일 성을 필요로 한다.
- [0006] 또한, 이황화몰리브덴(MoS_2)이 적용된 포토트랜지스터는 전극과 채널 물질 사이에 쇼트키 장벽(Schottky barrier)가 형성되어 높은 접촉 저항(contact resistance) 발생하고, 박막 내 많은 defect 및 박막 표면 산화로 인해 안정성(stability)이 저하되는 문제점이 있다. 또한, 이황화몰리브덴(MoS_2)이 적용된 포토트랜지스터는 대기에서 산소 (O_2)와 물 (H_2O)에 대한 취약성으로 인해 전도성과 전계 효과 이동도(field effect mobility), 전이 특성에서의 히스테리시스 효과(hysteresis effects) 및 광감지 효율이 저하되는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0007] 본 발명은 포토트랜지스터의 광전기적 성능을 향상시키기 위하여 전이금속 칼코겐화합물 기반의 다층 구조 채널층 및 셀룰로스 중합체 기반의 패시베이션층을 포함하는 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 방법을 제공하는 데 주된 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터의 제조 방법은, 복수의 전극, 게이트 절연층 및 채널 영역을 포함하는 트랜지스터를 형성하는 제작 단계; 및 상기 채널 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 패시베이션층을 형성하는 도핑 단계를 포함할 수 있다.
- [0009] 또한, 본 발명의 다른 측면에 의하면, 상기 목적을 달성하기 위한 셀룰로스 중합체 기반의 포토트랜지스터는 실리콘을 기반으로 형성된 상기 게이트 전극; 상기 게이트 전극 상에 게이트 절연 물질로 형성된 게이트 절연층; 상기 게이트 절연층 상에 전이금속 칼코겐 화합물로 형성된 다층 구조의 채널 영역; 상기 채널 영역에 비오버랩 영역이 형성되도록 전기 전도성 물질로 형성된 소스 전극 및 드레인 전극; 및 상기 채널 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 형성된 패시베이션층을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0010] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명은 포토트랜지스터에 셀룰로스 중합체 패시베이션층을 적용함으로써, 포토트랜지스터의 안정성을 향상시키는 효과가 있다.
- [0011] 또한, 본 발명은 포토트랜지스터에 셀룰로스 중합체 패시베이션층을 적용함으로써, 접촉 저항을 감소시켜 포토트랜지스터의 전기적 성능 향상을 향상시키는 효과가 있다.
- [0012] 또한, 본 발명은 포토트랜지스터에 셀룰로스 중합체 패시베이션층을 적용함으로써, 서브 갭 상태(trap sites)를 생성하여 가시광 영역에서 광 검출 성능을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 공정을 나타낸 도면이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다층 구조의 채널 영역 증착 공정을 설명하기 위한 도면이다.

도 3a 및 도 3b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층 및 그 제작 공정을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층을 적용한 포토트랜지스터의 구조 및 효과를 설명하기 위한 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체의 증착 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 증착하기 위한 노즐의 동작을 설명하기 위한 도면이다.

도 7a 내지 도 7d는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터의 성능 향상 결과를 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터를 활용한 센서 장치를 나타낸 예시 도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어, 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 바람직한 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 변형되어 다양하게 실시될 수 있음은 물론이다. 이하에서는 도면들을 참조하여 본 발명에서 제안하는 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 방법에 대해 자세하게 설명하기로 한다.
- [0015] 본 발명에서 광전기적 성능 향상을 위하여 포토트랜지스터에 적용된 셀룰로스 중합체는 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose)인 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0016] 도 1a 및 도 1b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터 및 그 제조 공정을 나타낸 도면이다.
- [0017] 도 1a는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)의 제조 공정을 나타낸다.
- [0018] 도 1a의 (a)를 참조하면, 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)의 게이트 전극(110)을 형성한다. 여기서, 게이트 전극(110)은 기판(미도시) 상에 형성될 수도 있으며, 기판(미도시)은 본 발명의 기술 분야에서 일반적으로 사용되고 있는 것들이 사용되며, 예를 들면, 유리, 실리콘 웨이퍼, 플라스틱 등이 사용될 수 있지만, 반드시 이것으로 한정되는 것은 아니며, 활용 분야에 따라 다양한 물질이 사용되거나 생략될 수 있다.
- [0019] 게이트 전극(110)은 기판의 역할을 겸할 수 있으며 금속, 불순물이 다량 함유된 실리콘 기판, ITO 등을 사용할 수 있다.
- [0020] 게이트 전극(110)은 보론이 도핑된 P형 실리콘(P-Type Silicon)인 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 한편, 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)를 구부릴 수 있는 형태로 제작할 경우에는 게이트 전극으로 전도성 고분자가 사용될 수 있으며, 전도성 고분자에는 PEDOT, 폴리아세틸렌, 폴리피롤 등이 포함될 수 있다.
- [0021] 도 1a의 (b)를 참조하면, 게이트 전극(110)을 덮도록 게이트 전극(110) 상에 게이트 절연층(120)을 형성한다.
- [0022] 게이트 절연층(120)은 게이트 전극(110) 위에 습식 공정을 통해 형성될 수 있고, 게이트 절연층 조성물을 스핀 코팅, 딥핑 또는 프린팅을 통하여 도포하고, 이어서 베이킹하여 게이트 절연층(120)을 형성할 수 있다. 또한, 실시예에 따라서는 게이트 절연층(120)은 리소그래피 공정을 이용하여 패턴화될 수 있다.
- [0023] 게이트 절연층(120)은 이산화 규소(SiO_2)인 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니며 게이트 절연을 위하여 다양한 재료로 구현될 수 있다. 예를 들어, 게이트 절연층(120)은 실리콘산화막, 실리콘질화막을 포함하는 무기물 박막, 또는 고분자를 이용한 박막으로 형성할 수도 있다.
- [0024] 도 1a의 (c)를 참조하면, 게이트 절연층(120) 위에 채널 영역(130)을 형성한다. 채널 영역(130)은 전이금속 칼코젠 화합물(TMD: Transition Metal Dichalcogenides)로 형성될 수 있고, 단층 또는 다층 구조로 형성될 수 있다. 여기서, 전이금속 칼코젠 화합물은 이황화몰리브덴(MoS_2), 이셀레니드 몰리브덴(MoSe_2), 이셀레니드 텅스텐

(WSe₂), 이텔루리드 몰리브덴(MoTe₂), 및 이셀레니드 주석(SnSe₂) 중 적어도 어느 하나의 화합물일 수 있다.

- [0025] 다층 또는 다층 구조의 전이금속 칼코겐화합물로 구성되는 채널 영역(130)은 화학기상증착(CVD), PE-CVD, 원자층 증착(ALD), 또는 스퍼터 방식 중 어느 하나의 증착 방식을 이용하여 증착 가능하다. 한편, 본 실시예에 따른 다층 구조의 채널 영역(130)을 형성하기 위한 제조 공정은 도 2에서 설명하도록 한다.
- [0026] 도 1a의 (d)를 참조하면, 소정의 식각 마스크(미도시)를 기준으로 하여 채널 영역(130)에 대한 식각 공정을 수행하여 채널 영역(130)에 대한 패턴을 형성한다. 채널 영역(130)은 게이트 절연층(120) 상에 형성되고, 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b) 사이에 채널이 형성되도록 한다.
- [0027] 도 1a의 (e)를 참조하면, 게이트 절연층(120)의 양측에 각각 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)을 형성하기 위하여 전기 전도성 물질을 채널 영역(130)과 게이트 절연층(120) 상에 형성한다.
- [0028] 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)을 형성하기 위한 전기 전도성 물질은 금(Au) 백금(Pt), 티타늄(Ti), Ti+Au, Ni 등일 수 있다. 한편, 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)을 형성하기 위한 전기 전도성 물질은 투명 전도성 물질일 수 있으며, 비정질 산화물, 결정질 산화물, 그래핀(graphene), 및 고분자 유기물 중 적어도 하나일 수 있으며, 실시예에 따라 IZO(indium zinc oxide), ITO(indium thin oxide), 그래핀(graphene) 등일 수도 있다.
- [0029] 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)은 채널 영역(130) 위로 기판(미도시) 상에 본 발명의 기술 분야에서 알려진 방법을 통해 형성될 수 있으며, 바람직하게는 포토 마스크를 이용한 E-빔 법을 이용하여 형성될 수 있다.
- [0030] 도 1a의 (f)를 참조하면, 채널 영역(130)이 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b) 사이에 채널이 형성되도록 하고, 게이트 전극(110)과 중첩되지 않은 비오버랩 영역을 포함하도록 전극(140) 위에 마스크 패턴(미도시)을 식각 마스크로 하는 식각 공정을 통하여 패턴을 형성한다.
- [0031] 실시예에 따라 비오버랩 영역은 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)의 양 측면 방향에 각각 형성될 수 있고, 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b) 중 어느 한 측면 방향에 형성될 수도 있다.
- [0032] 도 1a의 (g)를 참조하면, 채널 영역(130)에 셀룰로스 중합체 물질을 도핑하여 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 형성한다.
- [0033] 구체적으로, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 채널 영역(130)의 비오버랩 영역 위에 셀룰로스 중합체 용액을 도핑하여 형성된다. 여기서, 셀룰로스 중합체는 셀룰로스(cellulose)의 하이드록시기(-OH)를 질산 에스테르로 변화시킨 화합물인 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose)인 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 셀룰로스 중합체는 셀룰로스의 하이드록시기(-OH)는 부분적으로 또는 완전하게 다양한 시약과 반응하여 주로 셀룰로스 에스테르 및 셀룰로스 에터와 같은 특성을 갖는 유도체들 중 하나일 수 있다.
- [0034] 본 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 니트로셀룰로오스로 형성되는 경우, 니트로셀룰로오스 용액은 콜로디온(Collodion)과 에탄올(ethanol)을 혼합하여 형성되며, 용적비는 콜로디온(Collodion) 및 에탄올(ethanol) 각각이 1 : 5 비율로 혼합되는 것이 바람직하다.
- [0035] 도 1a의 (g)에 도시된 바와 같이, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 채널 영역의(130)의 비오버랩 영역과 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)의 일부 영역 상에 셀룰로스 중합체 물질이 도핑되어 형성될 수 있으나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)의 사이의 비오버랩 영역 상에만 셀룰로스 중합체 물질이 도핑되어 형성될 수도 있다.
- [0036] 도 1의 (a) 내지 (g)에서는 각 단계를 순차적으로 실행하는 것으로 기재하고 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 다시 말해, 도 1의 (a) 내지 (g)에 기재된 단계를 변경하여 실행하거나 하나 이상의 단계를 병렬적으로 실행하는 것으로 적용 가능할 것이므로, 도 1은 시계열적인 순서로 한정되는 것은 아니다.
- [0037] 본 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 게이트 전극(110), 게이트 절연층(120), 채널 영역(130), 소스 전극(140a), 드레인 전극(140b) 및 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 포함한다. 도 1의 포토트랜지스터(100)는 일 실시예에 따른 것으로서, 도 1에 도시된 모든 구성이 필수 구성요소는 아니며, 다른 실시예에서 포토트랜지스터(100)에 포함된 일부 구성이 추가, 변경 또는 삭제될 수 있다.
- [0038] 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 다층 구조로 형성된 채널 영역(130) 상에 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 형성하여 포토트랜지스터의 광전기적 성능 및 안정성을 향상시킨다.

- [0039] 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 통해, 임계 전압 시프트가 감소되고, 대기 중의 H_2O , O_2 등의 외부 반응성 분자로부터 채널 영역(130)을 보호할 수 있다. 또한, 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 통해, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)과 채널 영역(130) 사이의 계면 쌍극자에서 쇼트키 장벽의 폭이 좁아져서 전계 효과 이동도(field effect mobility)와 온/오프 전류비(on/off current ratio)를 증가시키고, 광 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0040] 도 1b에서, 게이트 전극(110), 게이트 절연층(120), 채널 영역(130), 소스 전극(140a), 드레인 전극(140b)은 모두 동일한 공정으로 생성된 구조를 가지며, 이에 중복되는 설명에 대한 기재는 생략하도록 한다.
- [0041] 도 1b의 (a)는 제1 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)를 나타낸다.
- [0042] 제1 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 채널 영역(130)의 비오버랩 영역, 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b) 상에 셀룰로스 중합체 용액이 도핑된 후 식각 공정을 통해 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)의 일부 영역이 노출되도록 하여 형성된 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150a)을 포함할 수 있다.
- [0043] 도 1b의 (b)는 제2 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)를 나타낸다.
- [0044] 제2 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 채널 영역(130)의 비오버랩 영역과 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b)의 일부 영역 상에 셀룰로스 중합체 용액이 도핑되어 형성된 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150b)을 포함할 수 있다. 여기서, 셀룰로스 중합체 용액은 스핀 코팅 방식을 사용하여 도핑되는 것이 바람직하나 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0045] 도 1b의 (c)는 제3 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)를 나타낸다.
- [0046] 제3 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터(100)는 소스 전극(140a) 및 드레인 전극(140b) 사이의 채널 영역(130)의 비오버랩 영역 상에만 셀룰로스 중합체 용액이 도핑되어 형성된 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150c)을 포함할 수 있다.
- [0047] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 다층 구조의 채널 영역 증착 공정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0048] 도 1a 및 도 1b에서의 채널 영역(130)을 증착하는 공정을 구체적으로 나타낸다. 도 2에서는 다층 구조의 균일한 박막 형태의 채널 영역(130)을 증착하기 위한 단계를 설명한다. 이하에서, 채널 영역(130)은 전이금속 칼코겐 화합물(TMD) 중 이황화몰리브덴(MoS_2)으로 형성된 것으로 가정하여 설명하도록 한다.
- [0049] 도 2의 (a)를 참조하면, 채널 영역 증착 공정은 이황화몰리브덴(MoS_2) 결정을 탈이온수(deionized water)가 담긴 수조(bath)에 넣어 초음파 처리(ultrasonication) 단계를 수행한다. 여기서, 초음파 처리는 $50^{\circ}C$, 10분의 조건으로 처리한다. 초음파 처리 단계는 이황화몰리브덴(MoS_2) 결정의 층간 판데르발스 힘(Van der Waals force)이 약해지도록 하며, 이에 따라 각각의 층이 균일하게 박리될 수 있도록 한다.
- [0050] 도 2의 (b)를 참조하면, 채널 영역 증착 공정은 이황화몰리브덴(MoS_2) 결정에 접착 테이프(scotch tape)를 붙이고 압착한 후 다시 떼어내어 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)을 분리하는 단계를 수행한다. 여기서, 조각을 분리하는 단계는 접착 테이프를 붙인 후 압착 장비를 이용하여 $80^{\circ}C$, 1Mpa의 조건에서 압착을 수행하고, 다시 떼어낼 때 자동 롤러(roller) 장비로 접착 테이프를 말면서 2.5 mm/s의 속도로 균일하게 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)을 분리할 수 있다.
- [0051] 도 2의 (c)를 참조하면, 채널 영역 증착 공정은 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)을 증착하고자 하는 기판(게이트 절연층(120)) 상에 UV lamp를 이용하여 친수처리(높은 표면에너지 처리)하는 단계를 수행한다.
- [0052] 도 2의 (d)를 참조하면, 채널 영역 증착 공정은 기판(게이트 절연층(120))에 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)이 붙어있는 접착 테이프를 붙이고 압착한 후 다시 떼어내어 접착 테이프에서 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)을 분리하는 단계를 수행한다. 여기서, 접착 테이프에서 조각을 분리하는 단계는 접착 테이프를 붙인 후 압착 장비를 이용하여 $80^{\circ}C$, 2Mpa의 조건에서 압착을 수행하고, 다시 떼어낼 때 자동 롤러(roller) 장비로 접착 테이프

프를 말면서 2.5 mm/s의 속도로 균일하게 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake)을 분리할 수 있다. 이러한 단계를 통해 기판(게이트 절연층(120))에 이황화몰리브덴 조각(MoS_2 flake) 기반의 이황화몰리브덴 박막이 증착될 수 있다.

- [0053] 접착 테이프에서 조각을 분리하는 단계를 통해 이황화몰리브덴 조각이 기판(게이트 절연층(120))에 잘 접착될 수 있게 되고, 이황화몰리브덴 조각으로 형성된 박막과 기판 사이의 밀착력(adhesion)이 증가되고 균일하게 부착될 수 있으며, 이에 따라 포토트랜지스터의 전기적 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0054] 도 2의 (e)를 참조하면, 채널 영역 증착 공정은 UV lamp로 증착된 이황화몰리브덴 박막을 조사하여 표면 에너지 제어하는 단계를 수행한다. 여기서, 표면 에너지의 제어를 위하여 UV lamp로 3분 동안 증착된 이황화몰리브덴 박막을 조사할 수 있다.
- [0055] 이후, 채널 영역 증착 공정은 (b) 내지 (e) 단계를 반복적으로 수행하여 이황화몰리브덴 박막을 증착한다. 채널 영역 증착 공정은 이황화몰리브덴 결정에서 조각을 분리하여 이황화몰리브덴 박막을 증착하는 동작을 반복하여 이황화몰리브덴으로 형성된 다층 구조의 채널 영역(130)을 형성한다(도 2의 (f)).
- [0056] 채널 영역 증착 공정은 (b) 내지 (e) 단계를 반복적으로 수행함에 따라 이황화몰리브덴 조각이 접착 테이프보다 이미 부착된 이황화몰리브덴(MoS_2) 박막에 붙도록 하고, 다층 구조의 이황화몰리브덴 박막의 균일도, 접착력 등이 향상되도록 하여 고품질 다층 구조를 형성할 수 있다.
- [0057] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층 및 그 제작 공정을 설명하기 위한 도면이다.
- [0058] 도 3a는 채널 영역(130)의 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 제작하는 공정을 나타낸다.
- [0059] 이하에서, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 셀룰로스 중합체 중 니트로셀룰로오스(Nitrocellulose)로 형성된 것으로 가정하여 설명하도록 한다.
- [0060] 도 3a의 (a)는 니트로셀룰로오스 용액을 제작하는 단계를 나타낸다. 니트로셀룰로오스 용액은 콜로디온(Collodion)과 에탄올(ethanol)을 혼합하여 형성된다. 구체적으로, 니트로셀룰로오스 용액을 제작하는 단계는 니트로셀룰로오스 용액을 제조하기 위해, 니트로셀룰로오스 분말과 에탄올 및 다이에틸 에터(Diethyl ether)의 두 용매로 구성된 점성 콜로디온 용액에 에탄올 용매를 추가로 첨가하여 희석시킨다. 여기서, 니트로셀룰로오스 용액의 점도를 최적화하기 위하여 콜로디온 용액의 비율은 조정될 수 있다. 여기서, 니트로셀룰로오스 용액의 용적비는 콜로디온(Collodion) 및 에탄올(ethanol) 각각이 1 : 5 비율로 혼합되는 것이 바람직하다.
- [0061] 도 3a의 (b)는 제작된 니트로셀룰로오스 용액을 스핀 코팅을 통해 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 증착하는 단계를 나타낸다. 여기서, 니트로셀룰로오스 패시베이션층은 이황화몰리브덴(MoS_2)으로 형성된 채널 영역(130) 상에 증착된다. 예를 들어, 25 nm 두께의 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 증착하기 위한 단계에서는 니트로셀룰로오스 용액을 30 초 동안 3,000 rpm/분의 스핀 코팅하여 채널 영역(130) 상에 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 증착시킨다.
- [0062] 도 3a의 (c)는 증착된 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 균일화하기 위한 단계를 나타낸다.
- [0063] 예를 들어, 균일화하는 단계는, 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 갖는 하부 게이트 스테거드 이황화몰리브덴 박막트랜지스터(bottom-gate staggered MoS_2 TFT)를 제조하고, 어닐링 처리를 120 °C에서 5 분 동안 공기 중에서 수행하여 균일한 니트로셀룰로오스 박막(패시베이션층)을 형성할 수 있다.
- [0064] 도 3b의 (a)는 셀룰로오스를 이용하여 니트로셀룰로오스를 제조하는 화학 구조를 나타내고, 도 3b의 (b)는 니트로셀룰로오스 패시베이션층을 적용하기 위하여 제작된 포토트랜지스터를 광학 현미경으로 촬영한 이미지 평면도(상면도)이다. 여기서, 증착된 다층구조의 이황화몰리브덴 채널 영역의 폭, 길이 및 두께는 각각은 15 μm , 10 μm 및 40 nm로 구현될 수 있다.
- [0065] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층을 적용한 포토트랜지스터의 구조 및 효과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0066] 본 발명의 포토트랜지스터(100)는 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)을 적용함으로써, 안정성 향상(①), 전기적 성능 향상(②) 및 가시광 감지 성능 향상(③) 등의 효과를 발생시킬 수 있다.

- [0067] 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 채널 영역(130)의 표면에 O_2 , H_2O 등의 흡착을 방지하고 산화를 방지하여 포토트랜지스터(100)의 안정성을 향상시킬 수 있다(①).
- [0068] 또한, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 니트로셀룰로스와 이산화몰리브덴 사이의 좁은 쇼트키 장벽에 의해 전자 터널링 현상으로 전도도를 증가시킬 수 있다. 즉, 접촉 저항을 감소시킬 수 있다(②).
- [0069] 또한, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150)은 생성된 서브 갭 상태에 의해 가시광 영역에서 광 검출 성능을 향상시킨다(③). 구체적으로, 니트로셀룰로오스의 셀룰로스 에스터 그룹에서 나온 질소와 산소 원자는 이산화몰리브덴 채널 영역으로 확산된 다음 Mo-N과 Mo-O 결합을 형성할 수 있다. 여기서, Mo-N 및 Mo-O 결합은 원자가 대역과 전도 대역 사이에 있는 밴드 갭으로 서브 갭 상태(trap sites)를 생성하여 가시광 영역에서 광 검출 성능을 향상시킬 수 있다.
- [0070] 결과적으로, 본 실시예에 따른 니트로셀룰로오스 기반의 패시베이션층은 플렉시블 디스플레이의 백플레인(backplane) 및 사물 인터넷(IoT) 장치의 광 센서 등과 같은 차세대 전자 기기에 사용될 수 있는 박막 트랜지스터에 적용될 수 있다.
- [0071] 도 5a 및 도 5b는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체의 증착 방법을 설명하기 위한 도면이다.
- [0072] 도 1b의 (b)에 도시된 바와 같이, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150b)이 전면 증착된 경우 전면 증착에 의해 전극 성능의 악화에도 영향을 미칠 수 있다. 즉, 두께가 다른 패시베이션층 영역으로 인해 박막의 거칠기(roughness), 균일도 등이 떨어지게 될 수 있다. 또한, 구현하고자 하는 센서 배열(array)에 도입 시 불균일한 한계로 인해 제한이 존재할 수 있다.
- [0073] 이에, EHD(Electrohydrodynamic) jet printer로 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150c)을 도핑할 수 있다.
- [0074] 도 1b의 (c)에 도시된 바와 같이, 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150c)은 채널 영역에만 선택적으로 증착됨에 따라 전극 성능의 악화에 영향이 없으며, 균일한 증착이 가능하다. 또한, 패시베이션층의 두께를 쉽게 조절할 수 있으며, 구현하고자 하는 센서 배열(array)에 도입 시 제한이 없어 유용하다.
- [0075] 도 5a의 (a)는 EHD(Electrohydrodynamic) jet printer의 모식도를 나타내며, 도 5a의 (b)는 AC 펄스 전압 및 주파수의 조절을 통해 토출되는 니트로셀룰로오스 양, 박막 두께 조절 등을 제어 동작을 나타낸다.
- [0076] 도 5b의 (a)는 신체 부착형, 방수형, 웨어러블 헬스케어 디바이스 내 센서부 및 구동부에 들어갈 MoS_2 TFT 기반 센서 어레이를 나타내고, 도 5b의 (b)는 같은 빛을 센싱해도 같은 전류값을 출력하지 못하는 종래의 불균일성 문제점을 나타낸다.
- [0077] 도 5b의 (c)는 본 실시예에 따른 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150c)의 도핑 동작으로서, 카메라로 스캔(단계 ①)하면서 전기적 성능 측정장비를 통해 성능이 부족한 소자 영역을 측정(단계 ②)한 후, 문제가 있으면 제트 프린터 노즐을 통해 해당 영역의 MoS_2 박막 위에 니트로셀룰로오스 용액을 증착(단계 ③)한다(측정-증착의 동시 연속적 in-situ 공정). 이러한 셀룰로스 중합체 패시베이션층(150c)의 증착을 통해 수율 향상, 공정 효율화 등을 이룰 수 있다.
- [0078] 단계 ①은 MoS_2 박막이 있는 영역을 EHD 장비에 달린 패턴 카메라로 확인하고, 단계 ②는 확인된 영역을 곧바로, probe station tip을 이용해 전기적 성능을 측정한다. 다음으로 단계 ③은, 원하는 전기적 성능에 필요한 니트로셀룰로오스의 두께 및 농도로 프린팅하여 도핑을 진행한다. 단계 ③에서는 니트로셀룰로오스 도핑 후 전기적 성능을 다시 측정하여 즉각적인 전기적 성능에 대해 피드백이 가능하다.
- [0079] 도 6a 내지 도 6c는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 증착하기 위한 노즐의 동작을 설명하기 위한 도면이다.
- [0080] 도 6a 내지 도 6c의 EHD 제트 프린터는 고점도 잉크의 인쇄가 가능하며, 점도성이 있는 니트로셀룰로오스의 인쇄에 적합하다.
- [0081] 도 6a의 (a)는 EHD 제트 프린터의 인쇄 동작을 나타내고, 도 6a의 (b) 및 (c)는 EHD 제트 프린터의 노즐에서 잉크가 토출되는 동작을 나타낸다.
- [0082] 도 6b는 추가적인 전기력을 도입하여 인쇄 가능한 잉크 점도의 한계를 극복하기 위한 노즐의 동작을 나타낸다.
- [0083] 도 6b의 (a)는 종래의 잉크젯 잉크 토출 방식을 나타내고, 도 6b의 (b)는 본 발명의 니트로셀룰로오스를 도핑하

기 위하여 추가적인 전기력이 도입된 EHD 잉크 토출 방식을 나타낸다.

- [0084] 도 6b의 (c)는 EHD를 통한 고점도 잉크 토출 영상이며, 전기장 stress로 고점도 잉크 인쇄 및 노즐 막힘을 해결할 수 있다. 여기서, 잉크젯 인쇄 점도 한계는 < 20 cps이고, EHD 인쇄 점도 한계는 1 ~ 50,000 cps이다.
- [0085] 도 6c는 미세 패터닝이 가능한 EHD 인쇄 방식을 나타낸다. 이를 통해 채널 영역의 폭과 길이가 미세한 이산화황 몰리브덴 조각(MoS₂ flake) 위에 니트로셀룰로오스를 선택적으로 증착 가능하다.
- [0086] 도 6c의 (a)는 기존의 잉크젯 잉크 토출 방식에 따른 토출 결과를 나타내고, 도 6c의 (b)는 추가적인 전기력이 도입된 잉크 토출 방식에 따른 EHD 잉크 토출 결과를 나타낸다. 도 6c의 (c)는 EHD를 이용한 미세선폭(9 μm)의 인쇄 결과 이미지를 나타낸다.
- [0087] 도 7a 내지 도 7d는 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터의 성능 향상 결과를 나타낸 도면이다.
- [0088] 다층 구조의 이산화황몰리브덴 기반 포토트랜지스터(MoS₂ TFT)의 전기적 특성은 어두운 실온 공간에서 반도체 매개 변수 분석기를 이용하여 측정된다.
- [0089] 또한, 다층 구조의 이산화황몰리브덴 기반 포토트랜지스터(MoS₂ TFT)의 광전 특성은 1, 2, 3 및 4 mW / mm²의 전력 강도에서 635 nm의 파장을 갖는 적색, 532 nm의 파장을 갖는 녹색 및 405 nm의 파장을 갖는 청색 다이오드 레이저 소스를 사용한 조명 조건에서 측정된다. 예
- [0090] 또한, 0.025Hz (635nm, 1mW / mm²)의 적색 레이저 펄스를 적용하여 MoS₂ TFT의 시간 의존적 광 반응을 측정하였다.
- [0091] 다층 구조의 이산화황몰리브덴 기반 포토트랜지스터(MoS₂ TFT)의 전기적 안정성을 측정하기 위해 적용된 포지티브 바이어스 온도 스트레스(PBTS) 조건은 120 분 동안 40V 및 50 °C의 게이트 전압(VGS)이다.
- [0092] 니트로셀룰로오스가 도핑된 포토트랜지스터의 전기적 특성은 n 형 트랜지스터의 전이 특성을 나타낸다. 본 발명에서, 모든 전이 특성은 1V의 드레인 전압 (VDS)에서 측정되었다.
- [0093] 도 7a의 (a)는 종래의 포토트랜지스터의 장치의 바이어스 온도 스트레스(PBTS)를 측정한 결과이고, 도 7a의 (b)는 본 발명의 포토트랜지스터의 장치의 바이어스 온도 스트레스(PBTS)를 측정한 결과이다. 도 7a의 (a) 및 (b)의 측정결과를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 없는 종래의 포토트랜지스터의 임계 전압(V_{th}) 시프트는 11.43V이고, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터의 임계 전압(V_{th}) 시프트는 4.80V이다.
- [0094] 본 발명에서는 니트로셀룰로오스를 추가로 도핑함으로써, 이산화황몰리브덴 기반 포토트랜지스터(MoS₂ TFT)의 신뢰성이 종래에 비해 약 58 % 개선됨을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 니트로셀룰로오스 박막이 수용체와 유사한 상태로 작용하는 이산화황몰리브덴(MoS₂) 채널층의 표면에서 O₂와 H₂O의 흡착을 막는 차단 효과를 나타내는 것을 확인할 수 있다.
- [0095] 또한, 종래의 포토트랜지스터에서 거의 측정하지 않는 안정성 테스트 방법으로 차별성을 가지며, 가혹한 조건(예: gate voltage: 40 V, 온도: 50 °C)에서 테스트를 함에도 종래에 비해 안정성(stability) 성능이 확연히 좋아짐을 확인할 수 있다.
- [0096] 또한, 포토트랜지스터의 안정성을 추가로 평가하기 위해, 전이 특성에서의 히스테리시스(Hysteresis)를 비교한다.
- [0097] 도 7a의 (c)는 종래의 포토트랜지스터의 장치의 히스테리시스(Hysteresis)를 측정한 결과이고, 도 7a의 (d)는 본 발명의 포토트랜지스터의 장치의 히스테리시스(Hysteresis)를 측정한 결과이다. 도 7a의 (c) 및 (d)의 측정결과를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터에서 종래의 포토트랜지스터보다 히스테리시스가 감소되었음을 확인할 수 있다. 그 결과, 이산화황몰리브덴(MoS₂) 채널층의 표면에 O₂와 H₂O가 흡착되는 것은 효과적으로 차단 및 방지할 수 있다. 다시 말해,
- [0098] 도 7a의 (c) 및 (d)를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 후, 이산화황몰리브덴(MoS₂) 채널층의 표면에 흡착되는 O₂와 H₂O가 줄어들었기 때문에 시계 방향 히스테리시스(clockwise hysteresis)가 감소하며, 이를 통해 포

착 전자(trapped electron)의 수가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

- [0099] 도 7b의 (a)는 종래의 포토트랜지스터의 장치의 전이 특성 곡선(적색) 및 본 발명의 포토트랜지스터의 장치의 전이 특성 곡선(흑색)을 나타낸다.
- [0100] 도 7b의 (a)를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터에서 도핑 효과에 따라 오프 전류(Off current)가 감소하고, 오프 전류(On current)가 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0101] 또한, 도 7b의 (b)에 요약된 요약된 전기적 특성으로부터 어두운 영역에서의 측정결과, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터는 전계 효과 이동도(field effect mobility)가 1.13 배, 온/오프 전류비(on/off current ratio)가 3.05 배 증가하는 것을 확인할 수 있다.
- [0102] 도 7c의 (a), (b) 및 (c)는 종래의 포토트랜지스터의 장치의 광 감지 능력을 측정한 결과이고, 도 7c의 (d), (e) 및 (f)는 본 발명의 포토트랜지스터의 장치의 광 감지 능력을 측정한 결과이다.
- [0103] 도 7c의 (a), (b) 및 (c) 각각은 적색(635nm), 녹색(532nm) 및 청색(405nm) 레이저 조명 하에서의 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 없는 종래의 포토트랜지스터의 전달 곡선을 나타낸다. 여기서, 종래의 포토트랜지스터는 어두운 조건과 비교할 때 가시광선 조명 하에서 전이 특성의 변화가 거의 없다는 것을 확인할 수 있다.
- [0104] 도 7c의 (d), (e) 및 (f) 각각은 적색(635nm), 녹색(532nm) 및 청색(405nm) 레이저 조명 하에서의 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터의 전달 곡선을 나타낸다.
- [0105] 도 7c의 (d), (e) 및 (f)를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터는 오프 전류 영역에서 어두운 상태 (Idark)와 조명 상태 (Iilluminated)의 드레인 전류 사이에 급격한 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 여기서, 니트로셀룰로오스 패시베이션층은 가시광선 흡수 및 검출을 개선시키는 데 도움이 되는 것을 확인할 수 있다.
- [0106] 도 7d는 종래의 포토트랜지스터의 장치와 본 발명의 포토트랜지스터의 광 검출 성능을 측정한 결과를 나타낸다. 여기서, 광 검출 성능은 광응답도(PR: Photoresponsivity), 광감도(PS: Photosensitivity) 및 검출도(D*: Detectivity)을 의미한다. 광 검출 성능 각각은 수학적 식 1 내지 3과 같이 정의될 수 있다.

수학적 식 1

$$R = J_{\text{photo}}/P$$

수학적 식 2

$$PS = I_{\text{photo}}/I_{\text{dark}}$$

수학적 식 3

$$D^* = R/(2qJ_{\text{dark}})^{1/2}$$

(J_{photo} : 광전류 밀도, P: 입사광 전력 밀도, I_{photo} : 광전류, I_{dark} : 어두운 조건에서의 전류, q: 전하의 절대값, J_{dark} : 어두운 조건에서의 전류 밀도)

도 7d는 적색 조명(635 nm, 1 mW/mm²) 조건에서 측정한 것으로 가정하며, 도 7d의 (d)는 $V_G = -10V$, $V_D = 1V$ 인

것으로 가정한다.

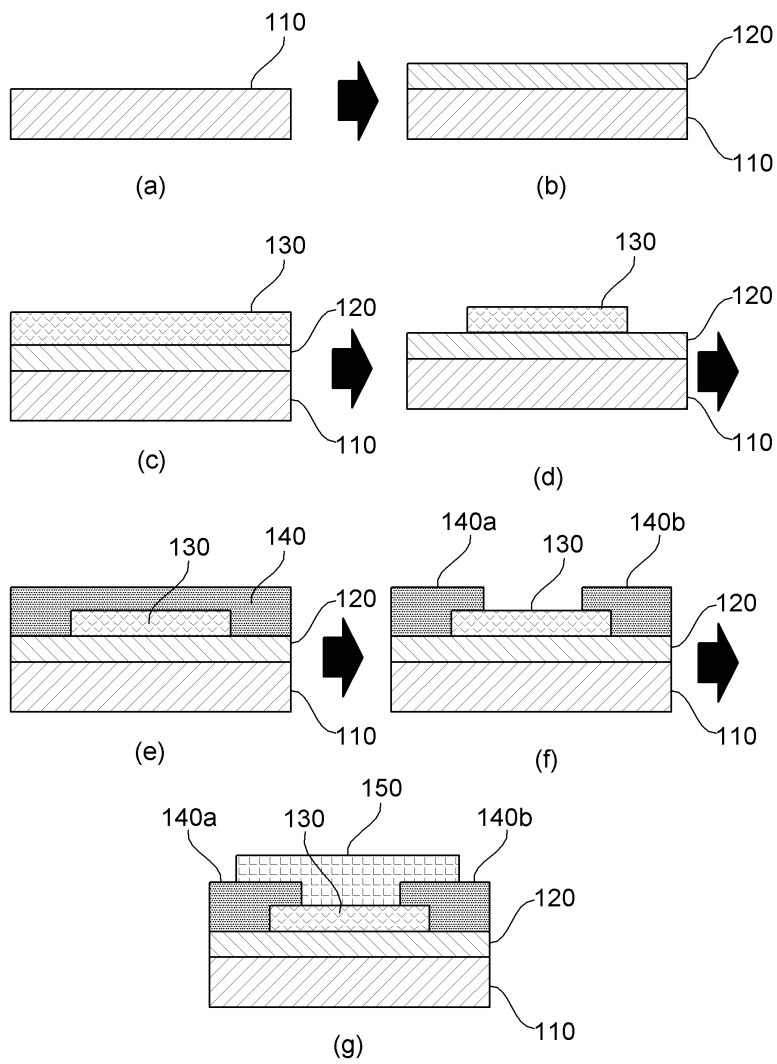
- [0112] 도 7d의 (a)는 종래의 포토트랜지스터의 장치와 본 발명의 포토트랜지스터의 광응답도(PR)의 측정결과를 나타내고, (b)는 광감도(PS)의 측정결과를 나타내고, (c)는 검출도(D^*)의 측정결과를 나타낸다.
- [0113] 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터는 모든 광 검출 성능이 종래의 포토트랜지스터보다 향상된 것을 확인할 수 있다.
- [0114] 또한, 도 7d의 (d)를 참조하면, 니트로셀룰로오스가 도핑된 패시베이션층이 있는 본 발명의 포토트랜지스터는 적색 조명 하에서 광응답도(PR), 광감도(PS) 및 검출도(D^*)의 최대값이 각각 1.51 배, 6.08 배 및 1.95 배 증가한 것을 확인할 수 있다.
- [0115] 도 7d의 (d)를 참고하면, 본 발명의 포토트랜지스터는 광의 on/off 스위칭(switching)에 따라 가역적이고 즉각적인 특성을 가졌으며, 이는 광 검출 장치로서 사용하기에 적합한 성능을 가진다.
- [0116] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 셀룰로스 중합체를 적용한 포토트랜지스터를 활용한 센서 장치를 나타낸 예시 도이다.
- [0117] 본 실시예에 따른 니트로셀룰로오스 기반의 패시베이션층은 플렉시블 디스플레이의 백플레인(backplane) 및 사물 인터넷(IoT) 장치의 광 센서 등과 같은 차세대 전자 기기에 사용될 수 있는 박막 트랜지스터에 적용될 수 있다. 여기서, 박막 트랜지스터는 다층 구조의 이산화황폴리리브텐 채널층을 포함하는 박막 트랜지스터일 수 있다.
- [0118] 본 실시예에 따른 니트로셀룰로오스 기반의 포토트랜지스터는 신체피부 부착형, 방수형 웨어러블 헬스케어 기기(예: 맥박 센서 등)의 센서 및 구동 소자로 활용될 수 있다.
- [0119] 도 8의 (a)는 본 발명의 포토트랜지스터를 사용하여 고감도 센서부 및 고신뢰성 구동부가 구현된 신체피부 부착형 헬스케어 기기 모식도를 나타내고, 도 8의 (b)는 신체피부 부착형 헬스케어 기기 활용 예시를 나타낸다. 예를 들어, 헬스케어의 필수 측정 대상인 맥박, 산소포화도 등을 본 실시예에 따른 니트로셀룰로오스 기반의 포토트랜지스터를 적용한 포토센서 어레이로 측정하고, 스위칭 소자 어레이로 구동할 수 있다.
- [0120] 또한, 본 발명의 포토트랜지스터에 적용된 니트로셀룰로오스 기반의 패시베이션층은 인체 친화형 소재, 소수성 물질, 높은 유연성 등의 특징을 가지며, 피부에 부착되어도 이상 반응이 없고, 소자로의 수분(예: 땀) 침투를 방지할 수 있음에 따라 부착형, 방수형 웨어러블 헬스케어 기기에 활용 가능하다.
- [0121] 이상의 설명은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명의 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 실시예의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형이 가능할 것이다. 따라서, 본 발명의 실시예들은 본 발명의 실시예의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 실시예의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예의 보호 범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 실시예의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

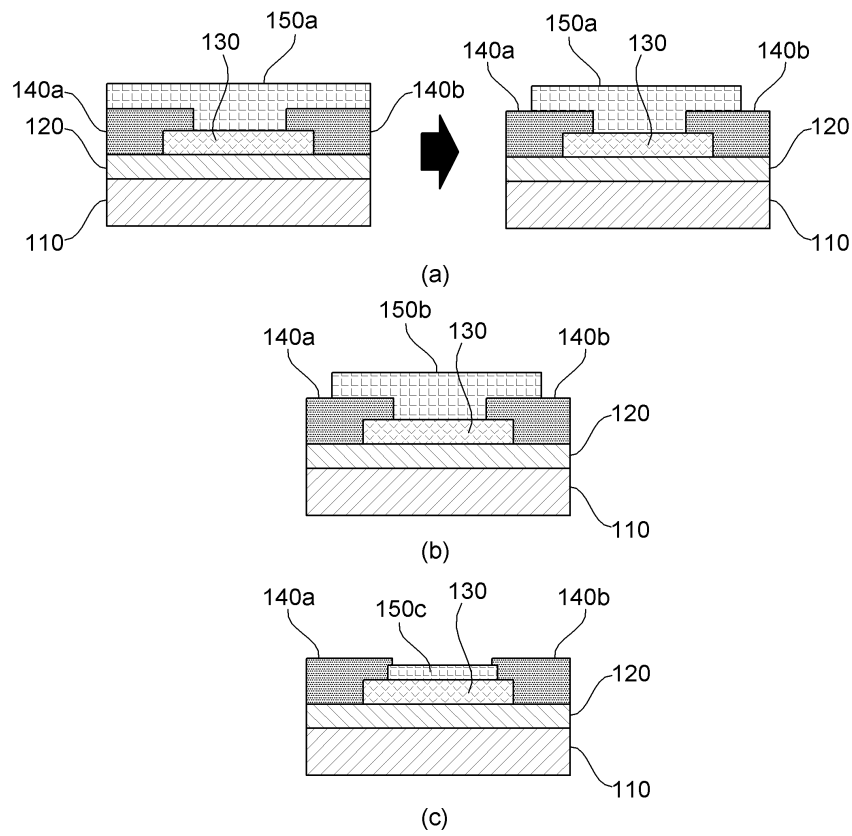
- [0122] 100: 포토트랜지스터
- 110: 게이트 전극 120: 게이트 절연층
- 130: 채널 영역 140a: 소스 전극
- 140b: 드레인 전극 150: 셀룰로스 중합체 패시베이션층

도면

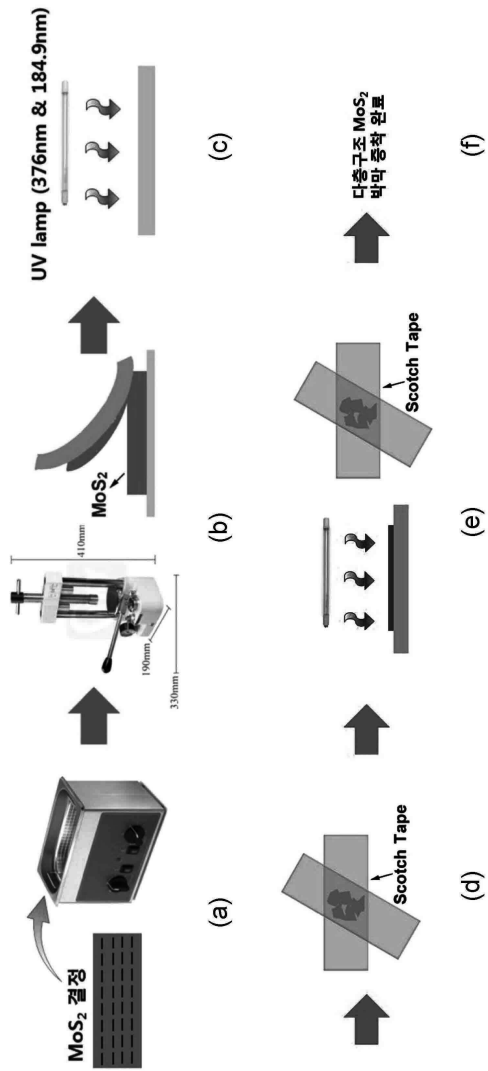
도면1a



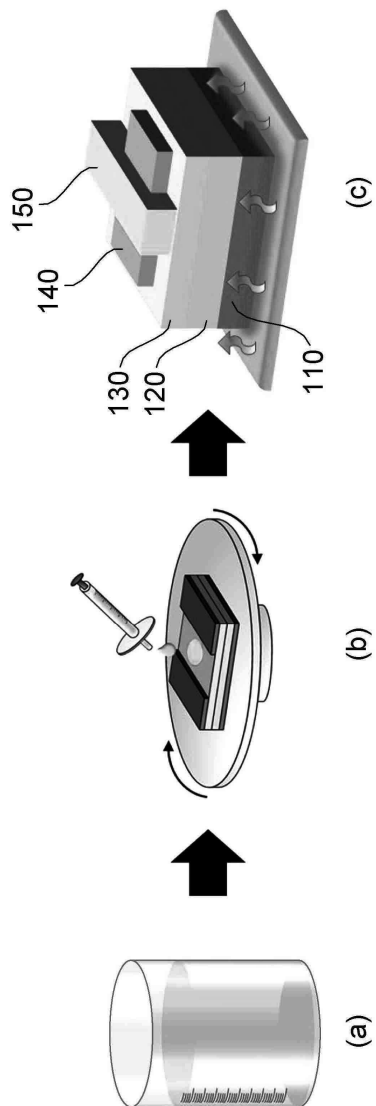
도면 1b



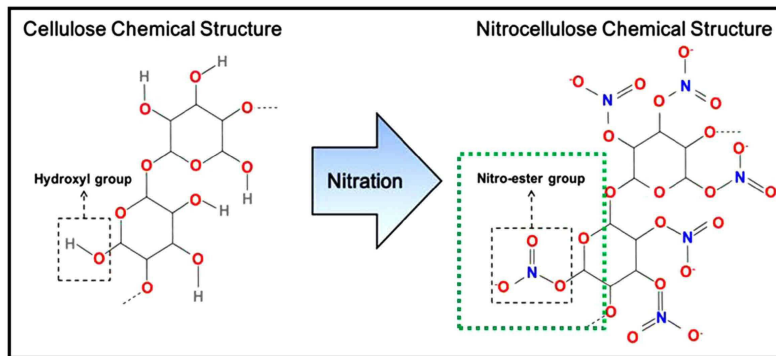
도면2



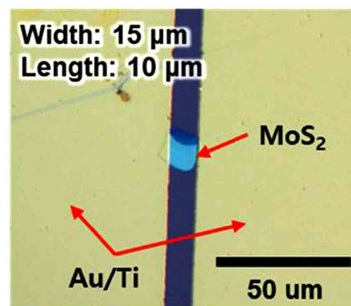
도면3a



도면3b

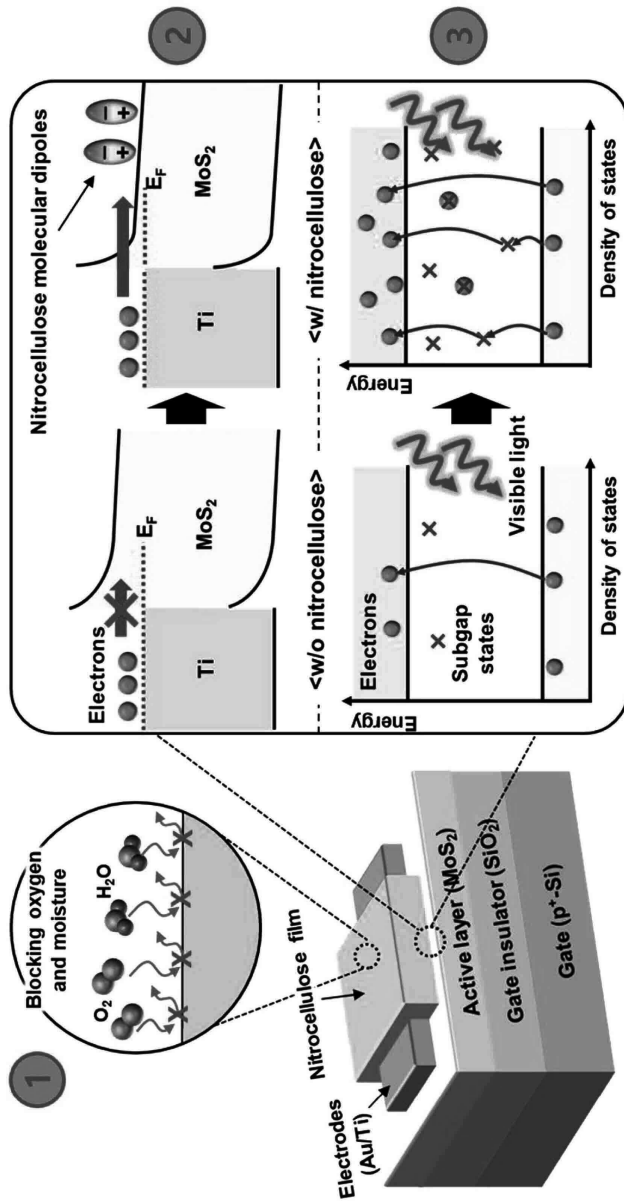


(a)

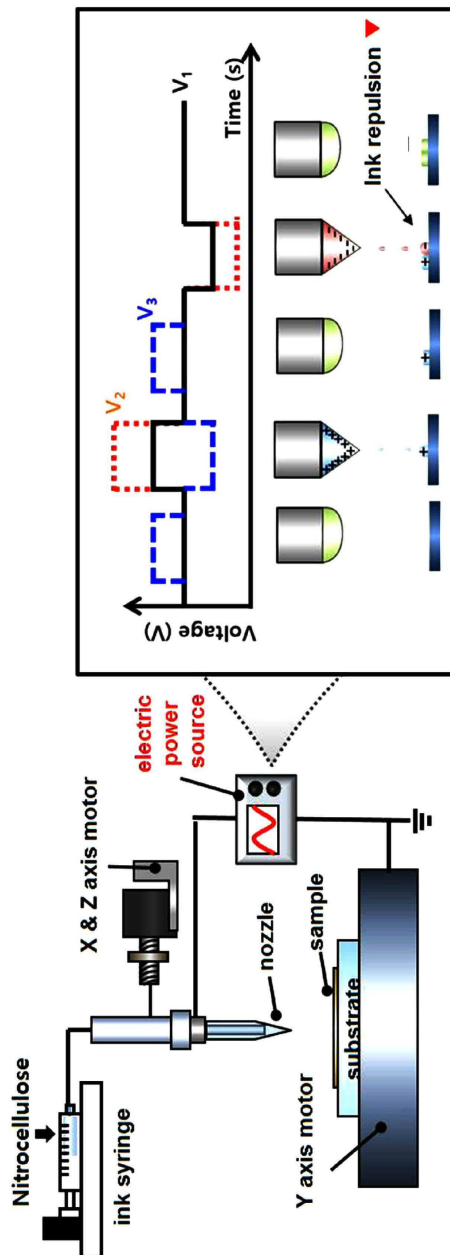


(b)

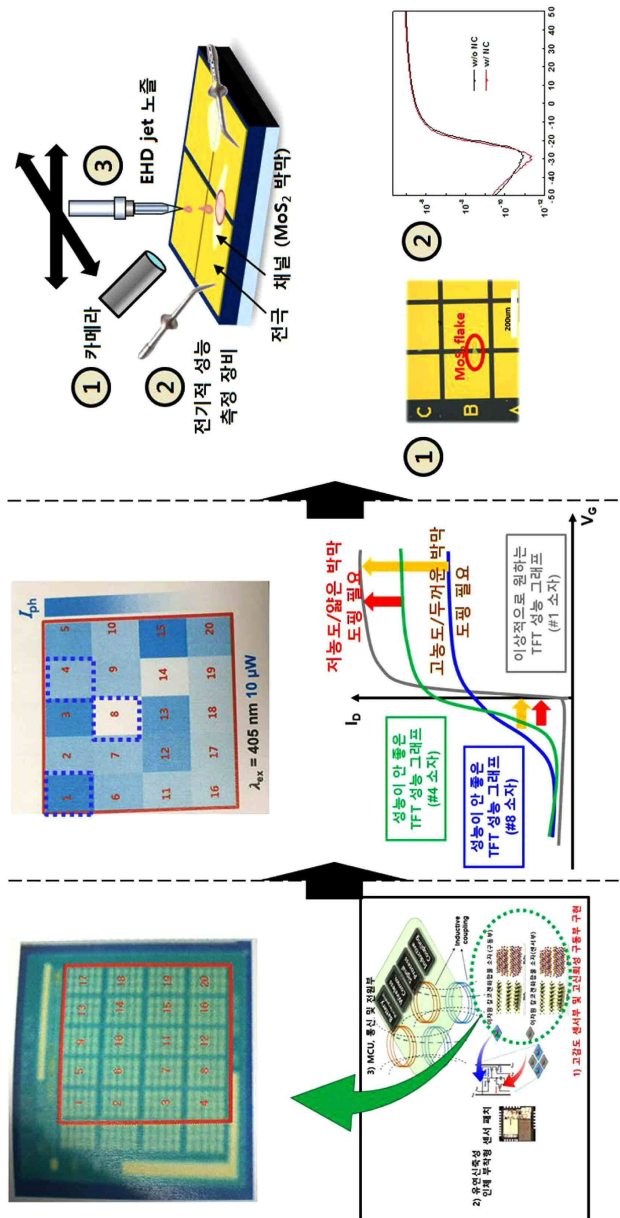
도면4



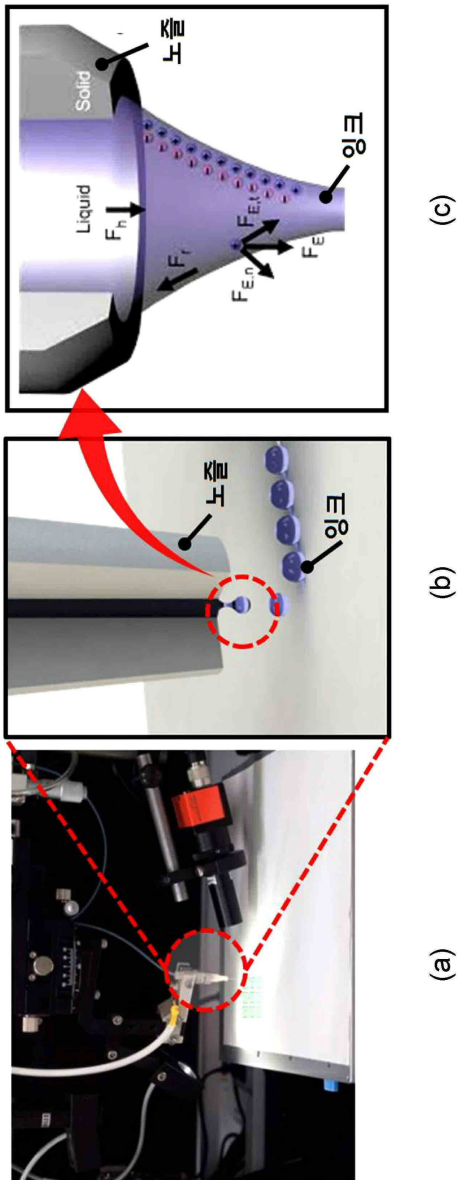
도면5a



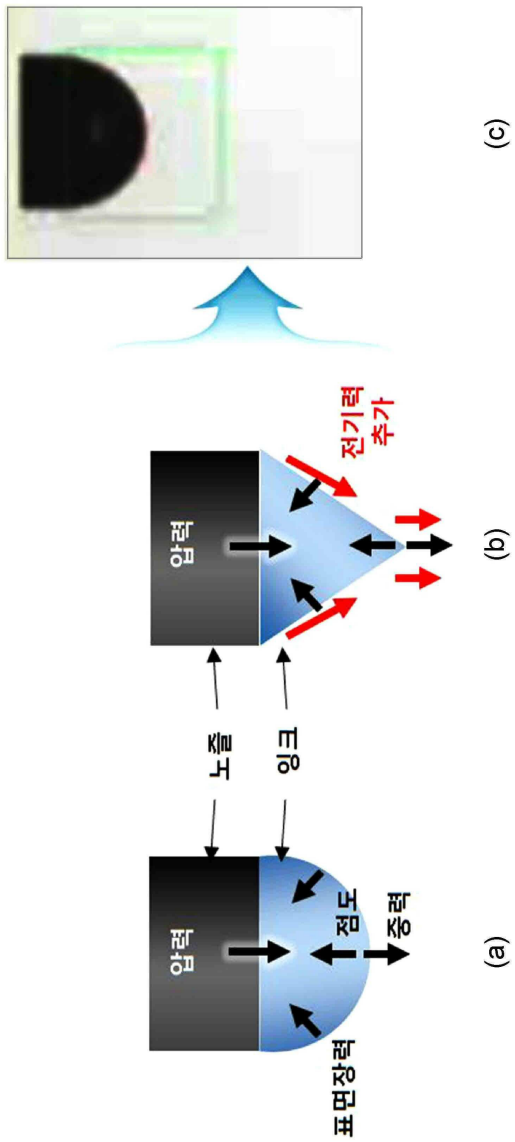
도면5b



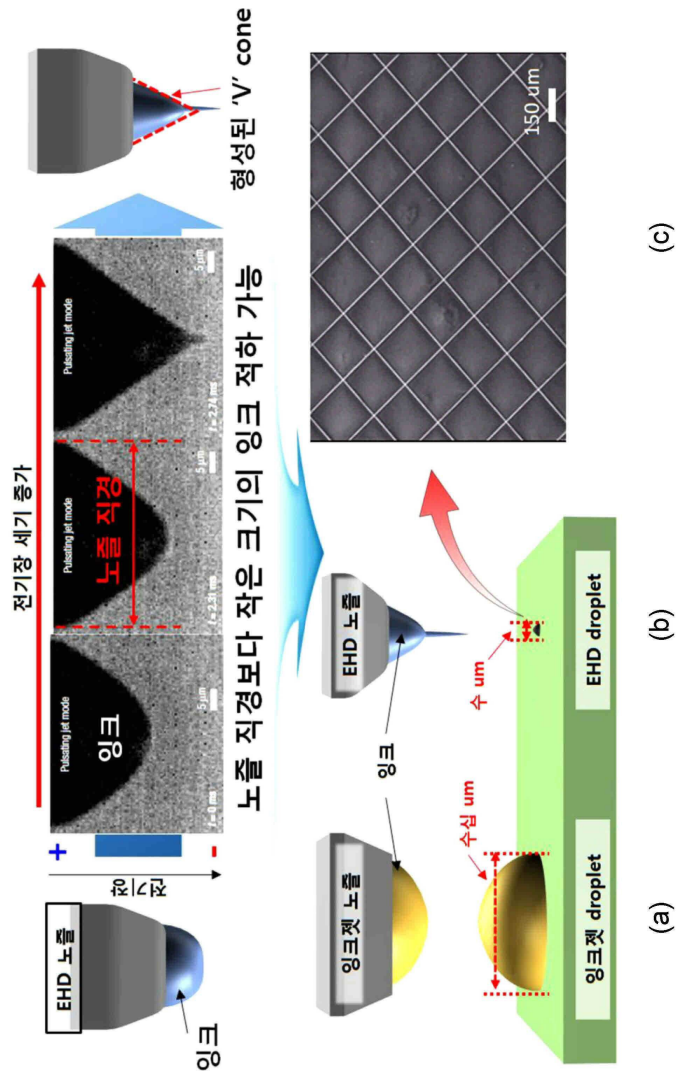
도면6a



도면6b

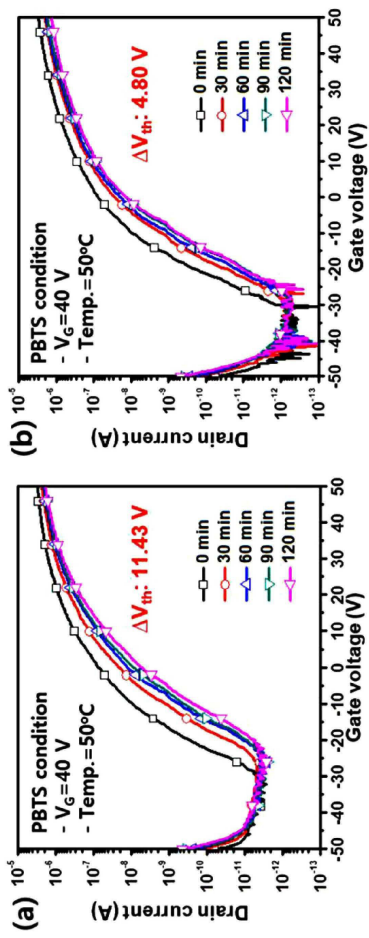


도면6c

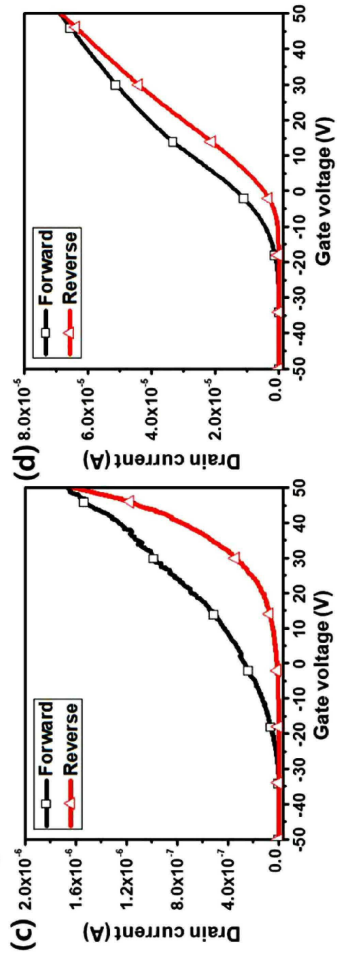


도면7a

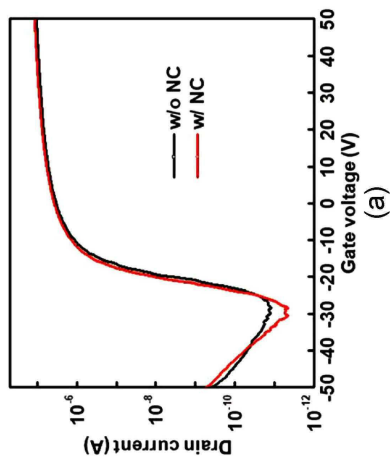
● Positive bias temperature stress (PBTs) 측정



● Hysteresis 측정



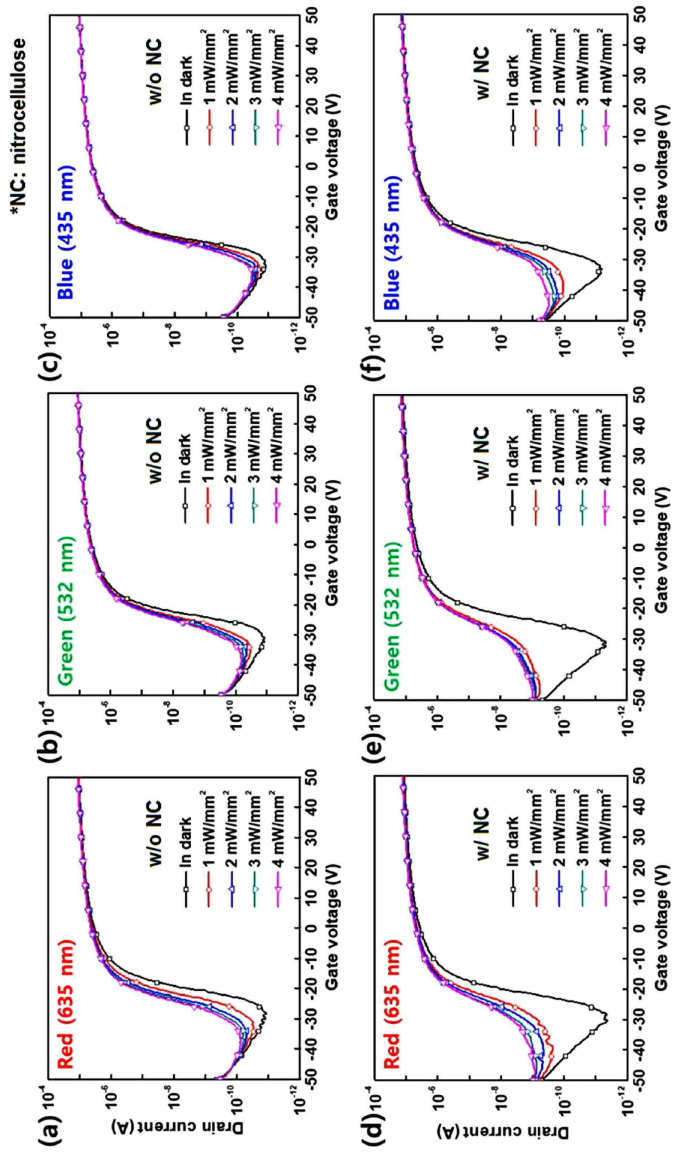
도면7b



	In dark			Under red light (635 nm, 10 mW/mm ²)		
	μ_{FE} (cm ² V ⁻¹ s ⁻¹)	On/Off ratio	V_{TH} (V)	Max. R (A/W)	Max. PS	Max. D* (Jones)
MoS ₂ photo-transistor w/o nitrocellulose	3.84	8.81×10^5	-6.08	133.63	3.01×10^2	5.09×10^9
MoS ₂ photo-transistor w/ nitrocellulose	4.33	2.69×10^6	-6.30	202.35	1.83×10^3	9.94×10^9

(b)

도면7c



도면8

